

Terrestrial digital photogrammetry device for digital detection of spatial scene, has control computer which stores image data resulting from image pick-up together with orientation and angle data in memory

Patent Number: DE19948544
Publication date: 2001-05-10
Inventor(s): HENNING DETLEV (DE); LIECKFELDT PETER (DE)
Applicant(s): GTA GEOINFORMATIK GMBH (DE)
Requested Patent: ☐ DE19948544
Application Number: DE19991048544 19991008
Priority Number(s): DE19991048544 19991008
IPC Classification: G01C11/10; G01C17/02; G01C21/04; G06F19/00
EC Classification: G01C11/02
Equivalents:

Abstract

The orientation and angle data of the momentary position of a digital image pick-up are led to a control computer to trigger an image pick-up sequence based on a preset orientation tolerance. The image data from the image pick-up are stored together with the orientation and angle data in a memory. A non-ferromagnetic plate forming a modular unit, the digital image pick-up, a DGSP receiver and a spatial orientation sensor are arranged on the receiving direction of a laser rangefinder. An Independent claim is also included for a terrestrial digital photogrammetry method.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 48 544 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
G 01 C 11/10
G 01 C 17/02
G 01 C 21/04
// G 06 F 19/00

②① Aktenzeichen: 199 48 544.5
②② Anmeldetag: 8. 10. 1999
④③ Offenlegungstag: 10. 5. 2001

DE 199 48 544 A 1

⑦① Anmelder:
GTA Geoinformatik GmbH, 17033
Neubrandenburg, DE

⑦④ Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner, 80538 München

⑦② Erfinder:
Lieckfeldt, Peter, Dr., 17235 Neustrelitz, DE;
Henning, Detlev, Dipl.-Ing., 17036
Neubrandenburg, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE	43 38 280 C1
DE	43 14 742 C2
DE	197 42 335 A1
DE	195 45 589 A1
WO	92 22 786 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform, diese umfassend eine digitale Bildaufnahmeeinrichtung sowie ein satellitengestütztes Lagebestimmungssystem (DGPS). Auf einer starren, nichtferromagnetischen Platte sind, eine Baueinheit bildend, die digitale Bildaufnahmeeinrichtung sowie dieser unmittelbar benachbart die DGPS-Empfangseinheit sowie weiterhin Sensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung sowie ein in Aufnahmerichtung weisender Laserentfernungsmesser angeordnet. Einem Steuerrechner sind über geeignete Schnittstellen Orientierungs- und Winkeldaten der momentanen Position der Bildaufnahmeeinrichtung zugeführt, um unter Berücksichtigung vorgegebener Orientierungstoleranzen eine Bildaufnahme oder -aufnahmefolge auszulösen, wobei die Bilddaten gemeinsam mit den zugehörigen Orientierungs- und Winkeldaten des Aufnahmемoments in eine Speichereinheit abgelegt werden. Ergänzend besteht die Möglichkeit, die Platte mit einem motorischen Antrieb auszurüsten, wobei der Steuerrechner Zieldaten zur Einstellung des Antriebs bereitstellt.

DE 199 48 544 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform, diese umfassend eine digitale Bild-
aufnahmeeinrichtung sowie ein satellitengestütztes Lagebestimmungssystem (DGPS) gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. 7.

Aus der deutschen Offenlegungsschrift 197 35 175 A1 ist ein Verfahren zur digitalen Erfassung räumlicher Szenen sowie zur Bestimmung von Objektkoordinaten bekannt, wobei gemäß dortiger Lösung in einfacher Weise beliebige natürliche Szenen auch durch Einzelpositionsaufnahmen erfaßt werden sollen, ohne daß von vornherein Paßpunkte oder ein einheitliches Koordinatensystem vorgegeben werden muß. Weiterhin soll auf der Basis der so erfaßten Szenen nachträglich ein geometrisch räumliches Bild erstellt werden, welches wiederum in eine entsprechende Datenbank transformierbar ist.

Gemäß dem Lösungsansatz nach DE 197 35 175 A1 wird die interessierende Szene von verschiedenen Positionen aus z. B. mit einer Digitalkamera aufgenommen, wobei die erhaltenen Bilddaten in entsprechenden Dateien abgelegt werden. Im Anschluß daran werden korrespondierende Referenz- oder Verknüpfungselemente in den einzelnen Aufnahmen bestimmt, wobei dies auch interaktiv erfolgen kann. Die Referenz- oder Verknüpfungselemente können Marken sein, die in der jeweiligen Szene angeordnet werden, oder markante Punkte darstellen, die aus dem Szenenbild bzw. den Szenenbildern selbst stammen. Die Aufnahme oder die Aufnahmesequenz kann sowohl kontinuierlich als aus diskontinuierlich, d. h. in Form von einzelnen Szenenfotos aufgenommen werden. Die erhaltenen digitalen Datensätze werden einer automatischen Bestimmung der inneren räumlichen Geometrie des Systems der Verknüpfungselemente unterzogen, wobei auf bekannte Methoden der digitalen Bild- und/oder Mustererkennung zurückgegriffen wird. Ergänzend soll die Möglichkeit bestehen, daß externe Koordinaten oder Paßpunkte vorgesehen sind, um die Bildsynthese zu optimieren. Das dort vorgestellte Verfahren dient bevorzugt der Erfassung archäologischer Grabungssituationen, d. h. zur Dokumentation derartiger Ausgrabungen. Die aufbereiteten Bilddaten können der Erstellung eines 3D-Modells dienen, wobei dieses dann ein ideales Dokumentationsmittel freigelegter Funde ist.

Die DE 43 38 280 C1 wiederum offenbart ein Verfahren zur bildgestützten Lageerfassung und Kartierung unterirdischer, oberflächennaher Objekte mit einem optischen Meßgerät sowie geophysikalischen Sensoren zur Erfassung, Auswertung und Interpretation geophysikalischer Daten. Mit einer hochgenauen Peilvorrichtung im Verbund mit einer Orientierungsplattform wird eine kontinuierliche, plangenaue und dreidimensionale Lagebestimmung durchgeführt, wobei die relative Lage der Koordinatensysteme mit hoher Genauigkeit zu erfassen ist. Oberirdische und unterirdische Objektdaten werden dann in einem Zentralrechner weiterverarbeitet und nachträglich auf ein für digitale Kartensysteme entsprechendes Format übertragen und zur Ansicht gebracht. Die dort notwendige Sensorik sowie die genaue Lage- respektive Koordinatenzuordnung führt jedoch zu einem erheblichen Aufwand mit einem entsprechend eingeschränkten Anwendungsgebiet.

Bei der DE 197 46 639 A1, die ein Verfahren zur digitalen Erfassung räumlicher Objekte und Szenen für eine 3D-Bildkarte offenbart, sollen in einfacher Weise beliebige natürliche Szenen auch durch Einzelpositionsaufnahmen erfaßbar sein, ohne daß von vornherein Paßpunkte oder ein einheitliches Koordinatensystem vorgegeben werden muß.

Dort wird verfahrensseitig zum Erhalt einer Datenmenge für 3D-Bildkarten auf bereits vorliegende digitalisierte Luftbildaufnahmen der realen Objekte oder Szenen zurückgegriffen oder es werden derartige Aufnahmen angefertigt. Den digitalisierten Luftbilddaten werden Präzisionspositionskoordinaten zugeordnet, so daß die gewünschte Lagegenauigkeit für die anschließende Kombination mit weiteren Bilddatensätzen gegeben ist. Angefertigte terrestrische Aufnahmen der betreffenden realen Objekte oder Szenen liefern Ansichten aus unterschiedlichen Positionen und/oder Richtungen, so daß insbesondere die Oberfläche, die aus den Luftbildern nicht erschlossen werden kann, als ergänzender Bilddatensatz vorliegt.

Ausgestaltet wird gemäß DE 197 46 639 A1 darauf hingewiesen, daß die interessierende Szene von verschiedenen Positionen aus, z. B. mit einer Digitalkamera aufgenommen werden kann, wobei die erhaltenen Bilddaten in entsprechenden Dateien abgelegt werden. Im Anschluß daran werden korrespondierende Referenz- oder Verknüpfungselemente in den einzelnen Aufnahmen bestimmt, wobei dies auch interaktiv erfolgen kann. Die Referenz- oder Verknüpfungselemente können auch Marken sein, die in der jeweiligen Szene angeordnet werden, oder markante Punkte darstellen, die aus dem Szenenbild selbst stammen. Die erhaltenen digitalen Datensätze werden einer automatischen Bestimmung der inneren räumlichen Geometrie des Systems von Verknüpfungselementen unterzogen, wobei hierfür bekannte Methoden der Bildverarbeitung nutzbar sind.

Es hat sich gezeigt, daß die bekannten digitalen Methoden der Signalverarbeitung von Bilddatenmengen durchaus in der Lage sind, auch komplexe Abbildungen mit dem Ziel der Erstellung von 3D-Modellen zu bearbeiten, jedoch ist das Aufnehmen der Bilder natürlicher Objekte im Vergleich zur rechentechnischen Bearbeitungszeit sehr aufwendig. Es ist daher nach Lösungen zu suchen, die bereits bei der Bildaufnahme eine möglichst geringe anfängliche Unbestimmtheit der Orientierung sicherstellen, so daß spätere Algorithmen zur Bildbearbeitung in effektiverer Weise nutzbar sind, wobei gleichzeitig der Anteil interaktiver Arbeit eines Operators reduzierbar ist.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform anzugeben, wobei von einer an sich bekannten digitalen Bildaufnahmeeinrichtung sowie einem satellitengestützten Lagebestimmungssystem ausgegangen wird. Die zu schaffende Vorrichtung bzw. das anzugebende Verfahren soll eine halb- und/oder vollautomatische Bildaufnahme gestatten, wobei die Anfangswerte der äußeren Orientierung eines jeden einzelnen Bildes möglichst exakt festzuhalten sind, so daß die verbleibende Rest-Unbestimmtheit geringer ist als die, die für einen erfolgreichen automatischen Programmablauf zur Verknüpfung der einzelnen überlappenden Bilder und zur anschließenden Berechnung der präzisen äußeren Orientierung erforderlich ist.

Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt mit einer Vorrichtung gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie mit einem Verfahren in seiner Definition nach Patentanspruch 7, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen umfassen.

Gemäß dem vorrichtungsseitigen Grundgedanken der Erfindung wird auf einer nicht ferromagnetischen, stabilen Platte, die als Träger dient, eine Baueinheit angeordnet, wobei die Baueinheit die digitale Bildaufnahmeeinrichtung, z. B. eine digitale Kamera, und dieser unmittelbar benachbart eine DGPS-Empfangeinheit aufweist. Weiterhin umfaßt die Baueinheit Sensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung sowie einen in Aufnahmerichtung weisenden Laserentfernungsmesser. Ein Steuerrechner steht

über geeignete Schnittstellen mit der Sensorik in Verbindung und erhält Orientierungs- und Winkeldaten der momentanen Position der Bildaufnahmeeinrichtung. Unter Berücksichtigung vorgegebener Orientierungstoleranzen wird dann mit Hilfe des Steuerrechners eine Bildaufnahme oder eine Aufnahme-
folge ausgelöst, wobei die Bilddaten gemeinsam mit den zugehörigen Orientierungs- und Winkeldaten des Aufnahmемoments in eine Speichereinheit abgelegt werden.

Die einzelnen Komponenten, die in Ausgestaltung Kompaß- und Neigungssensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung umfassen können, werden von dem erwähnten Steuerrechner funktional aktiviert, wobei der Steuerrechner zusätzlich Bilddaten und die zugehörigen Lage- und Orientierungsdaten mindestens zeitweise in einer geeigneten Speicher-
einheit ablegt.

Das differentielle GPS-System zur Positionsbestimmung besteht aus einer an sich bekannten, an einem Festpunkt aufgestellten Referenzstation, die über ein Funkmodem Korrekturdaten zur exakten Positionsbestimmung an die auf der Platte befestigte DGPS-Empfangseinheit sendet.

Bei einem Ausführungsbeispiel besteht die Platte aus einem massiven Aluminiummaterial, wobei die Bildaufnahmeeinrichtung und der erwähnte Laserentfernungsmesser so ausgelegt sind, daß eine schnelle Montage möglich ist. Geeignete Positionierungs- und Befestigungselemente stellen sicher, daß sich die relative Position der Sensoren zur Grundplatte nicht verändert.

Die erwähnte Aluminiumplatte, die die einzelnen Komponenten der Vorrichtung trägt, kann mit einer Vorrichtung ausgestattet sein, die eine Montage auf üblichen Stativen oder aber z. B. auf einem Dach eines Kfz gestattet.

In Fortbildung der Erfindung kann die Platte mit einem motorischen Antrieb zur Bewegung und Ausrichtung der Kamera verbunden sein, wobei dieser Antrieb Zieldaten zur Einstellung aus dem Steuerrechner erhält.

Zum Ausgleich von ferro- und/oder nichtmagnetischen Störungen steht der elektronische Kompaß mit einer Kalibriereinrichtung in Wechselwirkung, so daß nicht zu vermeidende Winkelabweichungen auf ein Mindestmaß reduzierbar sind.

Die DGPS-Empfangseinheit weist eine GPS-Antenne sowie einen Realtime-GPS-Computer auf, wobei letzterer über eine serielle Schnittstelle mit dem vorerwähnten Steuerrechner verbunden ist.

Der GPS-Computer ist an das erwähnte Funkmodem angeschlossen, welches zum sicheren Aufbau der DGPS-Referenzstrecke einen gewinnbehafteten Strahler bevorzugt mit einem Antennengewinn ≥ 5 dB aufweist.

Der Realtime-GPS-Computer soll bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine Positions-Update-rate von ≥ 5 Hz besitzen.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausgestaltung kann die DGPS-Referenzstrecke wahlweise über eine Funkstrecke kleiner Leistung im hierfür freigegebenen Frequenzbereich oder über ein öffentliches Mobilfunk-Telekommunikationsnetz aufgebaut werden.

Verfahrensseitig wird nun unter Anwendung der gezeigten Vorrichtung zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie eine laufende Abfrage der Daten der DGPS-Empfangseinheit, der Sensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung sowie des Entfernungsmessers und ein Zuordnen sowie Speichern dieser Daten als Anfangswerte der äußeren Orientierung jedes einzelnen Bildes vorgenommen. Der vorhandene Steuerrechner gibt dann Steuer- oder Empfehlungswerte zum Auslösen der Bildaufnahmeeinrichtung respektive der digitalen Kamera zum Erstellen nächster Bilder ab, wobei mit Übernahme der Bilddaten in einen Bild-

folgespeicher zeitgleich die korrespondierenden Lage- und Orientierungsdaten für das Projektionszentrum und die Ausrichtung der Bildaufnahmeeinrichtung abgespeichert werden. Weiterhin werden auf der Basis der so erhaltenen Datenpakete zeitlich nachgeordnet an sich bekannte Korrelationsverfahren genutzt, um eine 3D-Modellierung zu ermöglichen.

Bei einer Ausführungsform des Verfahrens besteht die Möglichkeit, mittels des Laserentfernungsmessers eine künstliche Mehrpunkt-Paßfläche, z. B. eine Dreipunkt-Paßfläche auf dem abzubildenden Objekt zu erzeugen, um hieraus die Objektorientierung der einzelnen Szenen im Raum zu ermitteln.

Der Steuerrechner steht mit einem Monitor in Verbindung, der in der Lage ist, menügestützt momentane Bilddaten sowie Lage- und Orientierungswerte anzugeben, so daß auch ein manuelles Auslösen einer weiteren Bildaufnahme anhand der bereitgestellten Empfehlungswerte möglich ist.

Bei der Auswertung der Lage- und Orientierungsdaten erfolgt ein Kalibrierungsschritt zum Ausgleich der mechanisch konstruktivbedingten Positionsunterschiede zwischen der GPS-Antenne der entsprechenden Empfangseinheit, der Bildebene der Bildaufnahmeeinrichtung sowie der Ausrichtungsunterschiede zwischen letzterer und dem elektronischen Kompaß sowie dem Entfernungsmesser.

Die Lage- und Orientierungsdaten werden mit einer Abtastrate im wesentlichen im Bereich von 5 bis 20 Hz gewonnen und in ein einheitliches Datenformat transferiert sowie mit einer Zeitmarke versehen und als temporäre Dateien über eine definierte Zeit zwischengespeichert.

Hierdurch kann, wenn eine Bildaufnahme nicht in das Abtastraster fällt, die Position aus den zeitlich benachbarten zwischengespeicherten Daten interpoliert werden.

Unter Berücksichtigung der aktuellen Lage- und Orientierungsdaten und des Bildwinkels der Bildaufnahmeeinrichtung kann der Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem die nächste Aufnahme auszulösen ist, wobei dieser Zeitpunkt als Meldung auf der Bedienoberfläche erscheint und/oder eine nächste Aufnahme zu diesem Zeitpunkt entsprechend automatisch ausgelöst wird.

Ergänzend kann softwareseitig ein Programm-Modul zur Kalibrierung der Bildaufnahmeeinrichtung respektive der Kamera vorgesehen sein, wobei zum Ausführen der Kalibrierung eine Kalibrierungsvorlage aus verschiedenen Positionen aufzunehmen ist. Mittels der entstandenen Bilder wird unter Rückgriff auf einen sogenannten Photomodeller eine Parameterermittlung einschließlich der Lage des Bildhauptpunkts ermittelt, wobei der entsprechende Kalibrierungsvorgang weitestgehend automatisch abläuft.

Wie erwähnt, wird bei der Aufnahme der Orientierungsdaten eine Korrektur vorhandener ferro- und weichmagnetischer Störungen vorgenommen.

Zur Stabilisierung der photogrammetrischen Auswertung, aber auch zu Kontrollzwecken erweist sich die vorgeschlagene Entfernungsmessung zwischen dem Projektionszentrum und ausgewählten Punkten der Objektoberfläche als vorteilhaft. Der Meßwegdurchmesser des Entfernungsmessers liegt bei relevanten Einsatzfällen, d. h. einem Abstand Bildaufnahmeeinrichtung/Objekt im Bereich von 30 bis 60 m in der Größenordnung von 1 bis 3 Pixeln.

Durch Einsatz des Entfernungsmessers ist eine automatische Identifikation der Bildkoordinaten des Lasermeßflecks im elektronischen Kamerabild im Sinne einer automatischen Paßpunktgewinnung nach Bestimmung der Winkeldivergenz zwischen optischer Achse der Kamera und des Laserstrahls möglich.

Es hat sich gezeigt, daß bei einem realisierten Meßsystem die erreichten Genauigkeiten ausreichend geeignet sind, um

mit den auf der Orientierungsplattform direkt gemessenen Orientierungsdaten als Eingangsdaten mit einem mathematischen Korrelations- bzw. Verbesserungsverfahren die für eine automatische Auswertetechnologie benötigten präzisen Orientierungsdaten zu bestimmen. Die erhaltenen Daten der äußeren Orientierung für jede Aufnahme werden also zur Optimierung der Kameraposition für jede Aufnahme und als Initialwerte für einen computergestützten Auswerteprozess genutzt, so daß eine Optimierung des automatischen Aufsuchens und Messens von Verknüpfungspunkten insbesondere beim iterativen Berechnen beim sogenannten Bündelblockausgleich gegeben ist.

Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm der Orientierungsplattform und

Fig. 2 eine beispielhafte Darstellung der Bedienoberfläche des Steuerprogramms der Orientierungsplattform.

Das in der Fig. 1 gezeigte Blockschaltbild der Orientierungsplattform geht von einem zentralen Steuerrechner bzw. Plattformcomputer aus, welcher über geeignete Schnittstellen, z. B. SCSI mit der Bildaufnahmeeinrichtung, nämlich einer digitalen Kamera, bzw. dem Laserentfernungsmesser über eine serielle Schnittstelle und der Elektronik für den Neigungs- und Kompaßsensor in Verbindung steht.

Darüber hinaus tauscht der Plattformcomputer Daten mit einem GPS-Computer der DGPS-Empfangeinheit aus.

Diese DGPS-Empfangeinheit umfaßt ein Funkmodem mit einer zugeordneten Funkantenne sowie einen GPS-Empfänger mit einer entsprechenden GPS-Antenne.

Über das Funkmodem der DGPS-Empfangeinheit wird eine DGPS-Referenzstrecke, d. h. eine Funkverbindung zu einer GPS-Referenzstation, die an einem exakt bekannten Standort positioniert ist, aufgebaut.

Das DGPS-System bietet die Möglichkeit, eine präzisere Positionserfassung zu erreichen, indem die Systemfehler des eigentlichen satellitengestützten Lagebestimmungssystems korrigiert werden. Hierbei wird auf die erwähnte GPS-Referenzstation zurückgegriffen, die an einem exakt vermessenen Punkt steht. Diese ermittelt die Systemfehler, z. B. die Uhrenfehler der Satelliten, ionosphärische und troposphärische Laufzeitfehler und so weiter, korrigiert diese und stellt dieses Korrektursignal über die Referenzfunkstrecke dem GPS-Computer, der sich auf der Platte der Orientierungsplattform befindet, zur Verfügung. Die Fehlerkorrektur erfolgt durch Vergleich der exakten, bekannten Position der Referenzstation mit der Position, die mittels der eigentlichen Satellitenempfangssignale errechnet wurde. Eine empfängerinterne Verarbeitung der Satellitensignale und der empfangenen Korrekturdaten ermöglicht eine Genauigkeitsbestimmung der Lage der Orientierungsplattform bis in den Zentimeterbereich.

Mindestens die GPS-Empfangsantenne, die digitale Kamera, der Laserentfernungsmesser sowie die Neigungssensoren bzw. der Kompaßsensor befinden sich auf einer nichtferromagnetischen Platte, die einen Träger für die einzelnen Baugruppen bildet. Die GPS-Antenne bzw. die komplette DGPS-Empfangeinheit mit Antenne ist der digitalen Bildaufnahmeeinrichtung, d. h. der digitalen Kamera möglichst eng benachbart angeordnet.

Mit Hilfe der vorstehend beschriebenen Sensorik einschließlich des DGPS-Systems kann die Position der Plattform einschließlich deren Winkellage und damit die Kamerarichtung bestimmt werden. Der Steuerrechner erhält Daten von den Sensoren, die ihn in die Lage versetzen, die momentane Position der Bildaufnahmeeinrichtung zu ermit-

teln, um unter Berücksichtigung vorgegebener Orientierungstoleranzen eine Bildaufnahme oder eine Aufnahme- folge auszulösen bzw. entsprechende Auslösesignale zum manuellen Betätigen der Kamera bereitzustellen. Die erhaltenen Bilddaten werden dann gemeinsam mit den zugehörigen Orientierungs- und Winkeldaten des jeweiligen Aufnahmemoments in einer Speichereinheit abgelegt und für die weitere Bildverarbeitung zur Verfügung gestellt.

Ebenfalls besteht die Möglichkeit, daß der Plattformcomputer bzw. der Steuerrechner Zieldaten für einen motorischen Antrieb zur Ausrichtung der Kamera bzw. der gesamten Plattform bereitstellt, so daß ein automatisches Nachführen, z. B. bei gewünschten 360°-Aufnahmen, möglich ist.

Es hat sich gezeigt, daß der Referenzfunkstrecke hinsichtlich Signalübertragungssicherheit eine hohe Bedeutung beizumessen ist, so daß bevorzugt hier gewinnbehafte Strahler mit einem Antennengewinn ≥ 5 dB zum Einsatz kommen. Der GPS-Computer soll als Realtime-Gerät mit einer Positions-Update-Rate von ≥ 5 Hz ausgeführt sein.

Aufgrund der gegebenen gesetzlichen Bestimmungen ist die Sendeleistung der GPS-Referenzstation begrenzt und im übrigen auf definierte Frequenzbereiche festgelegt. Im Betrieb der Orientierungsplattform besteht daher permanent die Gefahr, daß die Referenz-Funkverbindungsstrecke beeinträchtigt wird oder die Übertragung zusammenbricht.

Für den Fall besteht die Möglichkeit, automatisch oder teilautomatisch auf einen Datenaustausch über ein öffentliches Mobilfunk-Telekommunikationsnetz umzuschalten, indem beispielsweise eine hierfür vorgesehene Empfangs- und Sendeeinheit aktiviert wird.

Die für die Bildaufnahmeeinrichtung verwendete digitale Kamera sollte eine Bildgröße im Bereich von mindestens 1000×1500 Pixeln aufweisen und für den mobilen Einsatz, d. h. für Aufnahmen aus der Bewegung heraus geeignet sein. Weiterhin muß eine Möglichkeit der Einstellung und Steuerung der Bildaufnahme über einen Steuercomputer vorgesehen sein.

Eine Kalibrierungseinrichtung bzw. ein softwareseitig realisierter Kalibrierungsmodul ist in der Lage, fehlerhafte Winkelangaben des Kompaßsensors zu korrigieren. Hierbei wird bei handelsüblichen Kompaßsensoren die interne Filterung und Korrektur deaktiviert und unkorrigierte Magnetometerwerte der speziellen externen Korrektur zugeführt. Dabei werden zunächst die Werte für die X- und Y-Komponenten korrigiert, indem die durch Verdrehung und Verkip-
60

fung verursachten Verfälschungen rechnerisch eliminiert werden. Es erfolgt also ein quasi künstliches, exaktes horizontales Ausrichten des Kompasses wie folgt:

$$X_s = X + Z \cdot \sin(P)$$

$$Y_s = Y + Z \cdot \sin(R)$$

wobei

X, Y und Z die gemessenen Magnetometerwerte

P die Verkipfung um die Y-Achse

R die Verdrehung um die X-Achse

X_s und Y_s die korrigierten Horizontalkomponenten des Magnetfeld sind.

Der Winkel ergibt sich dann aus:

$$\kappa = \arctan\left(\frac{-Y_s}{X_s}\right)$$

wobei κ der Kompaßwinkel ist.

Der berechnete Wert für κ muß noch wie folgt korrigiert werden, damit sich eine eindeutige Winkelzuordnung ergibt: wenn $X \geq 0$ und $Y \leq 0$ dann $\kappa = \kappa$;

wenn $X < 0$ dann $\kappa = \kappa + 180^\circ$;
wenn $X \geq 0$ und $Y > 0$, dann $\kappa = \kappa + 360^\circ$.

Eine Analyse der Horizontalkomponenten des Magnetfelds zeigte jedoch, daß diese in ihrer Summe nicht konstant waren. Die Verzerrungen im Magnetfeld haben unterschiedliche Ursachen, zum einen sind diese von der Plattform selbst und den auf ihr aufgebauten Komponenten verursacht, zum anderen existieren Störungen im lokalen Erdmagnetfeld.

Die von der Plattform ausgehenden Störungen gehen zum einen von permanentmagnetisierten Teilen aus und sind zum anderen durch Störungen bedingt durch weichmagnetische Stoffe gegeben. Die Winkelabweichungen durch ferromagnetische und weichmagnetische Einflüsse lassen sich, da die entsprechenden Auswirkungen auf die Horizontalkomponenten bekannt sind, getrennt voneinander korrigieren.

Die Verzerrung des Magnetfelds durch ferromagnetische Einflüsse führt dazu, daß die Summe der X- bzw. Y-Komponenten über den Vollkreis ungleich Null ist:

$$\sum_{0^\circ}^{360^\circ} X = X_f; X_f \neq 0$$

$$\sum_{0^\circ}^{360^\circ} Y = Y_f; Y_f \neq 0$$

Die gemessenen Werte für die X- und Y-Komponente des magnetischen Feldes lassen sich korrigieren, indem die Fehlerwerte X_f bzw. Y_f von den gemessenen Werten subtrahiert werden. Aus den Fehlerwerten X_f bzw. Y_f lassen sich auch Betrag und Richtung der ferromagnetischen Störung ermitteln. Der Betrag ergibt sich aus:

$$|F| = \sqrt{X_f^2 + Y_f^2};$$

während sich die Richtung der ferromagnetischen Störung wie folgt ergibt:

$$k_f = \cos \frac{X_f}{|F|} = \sin \frac{Y_f}{|F|}.$$

Bei der Analyse der Magnetometerwerte zeigte sich, daß die Unsymmetrie in der X- und Y-Komponente des Magnetfelds auch dann recht genau bestimmt werden kann, wenn nur die Magnetometerwerte bei 0° , 90° , 180° und 270° bekannt sind. Aus den ermittelten Werten werden die durch Verdrehung und Verkippung verursachten Verfälschungen herausgerechnet, es wird also der Kompaßsensor rechnerisch horizontal ausgerichtet.

Die Fehlerwerte für die ferromagnetische Verzerrung der X- bzw. Y-Komponente ergeben sich dann aus

$$X_f = X_{0^\circ} + X_{90^\circ} + X_{180^\circ} + X_{270^\circ}$$

$$Y_f = Y_{0^\circ} + Y_{90^\circ} + Y_{180^\circ} + Y_{270^\circ}$$

Die Bestimmung der weichmagnetischen Störungen ist insofern problematischer, da zwischen der Winkelabweichung und dem tatsächlichen Winkel kein linearer Zusammenhang besteht und ein solcher sich auch nicht aus der Analyse der Horizontalkomponenten des Magnetfelds ergibt. Aufgrund der Tatsache, daß die Winkelabweichung einer Sinuskurve entspricht, deren Amplitude und Phase von

Stärke und Richtung der weichmagnetischen Störung abhängt und deren Periode 180° entspricht, wird die Möglichkeit genutzt, die Phase und die Amplitude dieser Sinuskurve in guter Näherung zu bestimmen. Hierbei wird davon ausgegangen, daß eine Sinuskurve im Bereich von $\pm 30^\circ$ vom Nulldurchgang eine gute Linearität besitzt und damit durch eine Gerade approximiert werden kann. Des weiteren liegt, bedingt durch die Periode von 180° , ein Nulldurchgang dieser Sinuskurve im Bereich von 0° bis 90° .

Gemäß Ausführungsbeispiel werden also bei einer Ausrichtung von 0° , 30° , 60° und 90° die entsprechenden Magnetometerwerte aufgenommen und diese Werte für eine horizontale Ausrichtung korrigiert. Danach werden die Fehlerwerte X_f und Y_f von diesen Magnetometerwerten subtrahiert, um ferromagnetische Verzerrungen zu korrigieren.

Dann wird aus den korrigierten Magnetometerwerten die Winkelabweichung $\delta\kappa$ zum entsprechenden Anzeigewert des RECTA wie folgt berechnet:

$$\delta\kappa_w = \arctan\left(\frac{-Y_s}{X_s}\right) - w - \kappa_0; w \in \{0^\circ; 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ\}$$

Weiterhin wird geprüft, welche aufeinanderfolgende Winkelabweichungen $\delta\kappa_w$ und $\delta\kappa_{w+1}$ unterschiedliche Vorzeichen haben. Zwischen diesen beiden Werten liegt ein Nulldurchgang der Sinuskurve, die die Winkelabweichung aufgrund weichmagnetischer Störungen beschreibt. Die genaue Position dieses Nulldurchgangs im Intervall zwischen zwei Stützwerten wird bestimmt durch

$$\kappa_w = \frac{\delta\kappa_w}{|\delta\kappa_w| + |\delta\kappa_{w+1}|} \cdot 30$$

Ist $\kappa_{wr} \geq 0$, ergibt sich die Phasenverschiebung der Sinuskurve mit

$$\kappa_{wr} = \kappa_{wr} + w$$

ansonsten mit

$$\kappa_{wr} = 90 + w - \kappa_{wr}$$

Nachdem nun die Phasenverschiebung der Sinuskurve, welche die Winkelabweichung aufgrund weichmagnetischer Störungen beschreibt, bekannt ist, kann mit Hilfe der Winkelabweichungen an den Stützwerten die Amplitude dieser Sinuskurve bestimmt werden.

$$\kappa_{wm} = \frac{\delta\kappa_w}{\sin 2(w - \delta\kappa_{wr})}; w \in \{0^\circ; 30^\circ; 60^\circ; 90^\circ\}$$

Anschließend wird aus den errechneten Werten κ_{wm} der Mittelwert gebildet, um Einflüsse durch Meßfehler zu minimieren. Liegt κ_{wr} sehr nahe an einer der Stützstellen w , wird der Wert für κ_{wm} an dieser Stelle stark verfälscht und dieser Wert deshalb nicht in die Mittelwertbildung einbezogen.

Auf der Basis der nun bekannten Werte für die ferro- und weichmagnetischen Einflüsse und der hierdurch verursachten Winkelabweichungen kann, da auch der Winkeloffset bekannt ist, eine Korrektur der vom Kompaßsensor gelieferten Werte vorgenommen werden.

Unter Berücksichtigung der vorbeschriebenen Korrekturverfahren liegen bei einem Prototyp erreichte Genauigkeiten im Bereich Position des Projektionszentrums der Kamera ± 2 bis 6 cm mit einem Orientierungswinkel der Kamera im Raum von α, φ ca. $\pm 0,2$ bis $0,5^\circ$. Damit liegt der Matching-Restfehler im Bereich von ca. $0,12\%$, welcher einem Lagefehler im Bereich des Bildrands von < 1 Pixelgröße ent-

spricht. Es hat sich gezeigt, daß die erreichten Genauigkeiten sehr gut geeignet sind, um mit den auf der Orientierungsplattform direkt gemessenen Orientierungsdaten als Eingangsdaten mit einem mathematischen Verbesserungsverfahren die für eine automatisierte Auswertetechnologie benötigten präzisen Orientierungsdaten zu bestimmen.

Die in der Fig. 2 gezeigte Bedienoberfläche des Steuerprogramms für die Orientierungsplattform ist übersichtlich gestaltet und so ausgelegt, daß die Bedienung leicht nachvollziehbar ist und keine aufwendige Einweisung in das Programm notwendig wird.

Wie erkennbar, ist der größte Teil der Bedienoberfläche der Anzeige von Informationen zugewiesen, wozu der aktuelle Status, d. h. Lageinformationen im Statusbereich, Angaben zum letzaufgenommenen Bild, Informationen, die im zum Bild gehörenden Datensatz abgelegt werden, gehören.

Da in der Regel bei einer Aufnahmesession die Parameter für die Datenübertragung sowie für die Kameraparameter nicht verändert werden, beschränken sich die Bedienelemente im Einstellbereich auf die Auswahl der Bildüberdeckung, des Aufnahmemodus, der Anzeige, ob im manuellen Modus eine Aufnahme gestartet werden sollte, um die eingestellte Bildüberdeckung zu erreichen, wobei diese Anzeige auch dazu genutzt werden kann anzuzeigen, daß gerade eine Aufnahme läuft, sowie auf eine Schaltfläche zur Aufnahme im manuellen Aufnahmemodus.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränkt sich die Menüleiste auf drei Hauptmenüpunkte. Im Menüpunkt Datei werden Aufgaben zur Verwaltung von Aufnahmesession und Datensätzen aktiviert, wobei der Menüpunkt Einstellungen zur Konfiguration der verschiedenen Komponenten der Orientierungsplattform und der Parameter für die Datenübertragung dient.

Mit den Menüeinstellungen können die einzelnen Geräte der Orientierungsplattform konfiguriert sowie die Parameter für die Datenübertragung vom und zum Steuerrechner eingestellt werden. Dieses Menü umfaßt Einstellungen für den Kompaßsensor, den Laserentfernungsmesser, die Kamera, das DGPS-System und mechanische Parameter der Meßplattform.

Die Einstellungen zu den mechanischen Parametern der Plattform betreffen insbesondere die Positionsunterschiede zwischen der Antenne des DGPS-Systems und der Bildebene der Kamera sowie die Unterschiede in der Ausrichtung von Kamera und Kompaßsensor einerseits sowie Kamera und Laserentfernungsmesser andererseits.

Bei der Kamera- und Aufnahmesteuerung wird, da über den Zeitbedarf bei der Übertragung eines vollständigen Bildes zum Steuerrechner noch keine Angaben bekannt sind, zunächst davon ausgegangen, daß während des eigentlichen Aufnahmevorgangs nur das Vorschaubild übertragen und das eigentliche Bild im Kameraspeicher abgelegt wird. Bei einer Festplattenkapazität von etwa 340 Megabyte in der Kamera können so ca. 220 Bilder aufgenommen werden, eine für eine Aufnahmesession in der Regel ausreichende Kapazität.

Bei einem 20 mm-Objektiv, 50 m Aufnahmeentfernung und einer Bildüberdeckung von 60% kann so eine Strecke von etwa 3300 m aufgenommen werden, bei einem 14 mm-Objektiv sind es bereits 4700 m.

Mit Aufruf des Menüpunkts "Session sichern" werden alle Aufnahmen aus der Kamera in den Steuerrechner übertragen und unter ihrer Bildnummer in dem Verzeichnis für die entsprechende Session gespeichert. Nach Übertragung der Bilddaten werden die Bilder im Kameraspeicher gelöscht, so daß der gesamte Speicher der Kamera zur Fortsetzung oder für den Start einer neuen Session bereitsteht.

Mit dem Programmteil Datenverwaltung und Speiche-

rung werden alle Funktionen, die für das Speichern und die Organisation der Daten im Verzeichnis für die aktuelle Session nötig sind, gesteuert.

Wurde eine Aufnahme getätigt, so wird aus dem genauen Zeitpunkt und den zeitlich benachbarten Datensätzen die genaue Position während der Aufnahme ermittelt und zusammen mit der Bildnummer der Aufnahme abgelegt.

Weiterhin wird unter Berücksichtigung der aktuellen Lagendaten und des Bildwinkels der Kamera der Zeitpunkt ermittelt, zu dem die nächste Aufnahme auszulösen ist und je nach Aufnahmemodus entweder eine entsprechende Meldung über die Bedienoberfläche ausgegeben, wenn im manuellen Aufnahmemodus gearbeitet wird, oder automatisch die nächste Aufnahme ausgelöst.

Insgesamt kann mit dem vorgestellten Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung die bisher im Auswerteprozess von digitalen Bilddaten prinzipiell vorhandene große Unbestimmtheit der Anfangswerte der äußeren Orientierung eines jeden einzelnen Bildes erheblich reduziert werden, wobei die verbleibende Rest-Unbestimmtheit wesentlich geringer ist als diejenige, die für einen erfolgreichen vollautomatischen Computerprogrammablauf zur Verknüpfung der einzelnen überlappenden Bilder und zur anschließenden Berechnung der präzisen äußeren Orientierung erforderlich ist. Gleichfalls besteht die Möglichkeit, signifikante Schätzwerte für das Projektionszentrum und die Kameraorientierung für jede Aufnahme zu gewinnen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform, diese umfassend eine digitale Bildaufnahmeeinrichtung sowie ein satellitengestütztes Lagebestimmungssystem (DGPS), **dadurch gekennzeichnet**, daß auf einer starren, nichtferromagnetischen Platte, eine Baueinheit bildend, die digitale Bildaufnahmeeinrichtung sowie dieser unmittelbar benachbart die DGPS-Empfangseinheit, weiterhin Sensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung sowie ein in Aufnahmerrichtung weisender Entfernungsmesser, insbesondere Laserentfernungsmesser angeordnet sind, wobei einem Steuerrechner über geeignete Schnittstellen Orientierungs- und Winkeldaten der momentanen Position der Bildaufnahmeeinrichtung zugeführt sind, um unter Berücksichtigung vorgegebener Orientierungstoleranzen eine Bildaufnahme oder Bildaufnahmefolge auszulösen, wobei die Bilddaten gemeinsam mit den zugehörigen Orientierungs- und Winkeldaten des Aufnahmemoments in eine Speichereinheit abgelegt werden.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Platte einen motorischen Antrieb zur Kameraausrichtung aufweist, wobei aus dem Steuerrechner Zieldaten zur Einstellung des Antriebs bereitgestellt werden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren zur Bestimmung der räumlichen Orientierung einen elektronischen Neigungsmesser sowie einen elektronischen Kompaß umfassen.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der elektronische Kompaß mit einer Kalibriereinrichtung zur Korrektur von Winkelabweichungen aufgrund ferro- und/oder weichmagnetischer Störungen verbunden ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die DGPS-Empfangseinheit eine GPS-Antenne sowie einen Realtime-

GPS-Computer umfaßt, wobei dieser über eine serielle Schnittstelle mit dem Steuerrechner verbunden ist, weiterhin der GPS-Computer an ein Funkmodem angeschlossen ist, welches zum sicheren Aufbau der DGPS-Referenzstrecke einen gewinnbehafteten Strahler mit einem Antennengewinn bevorzugt im Bereich ≥ 5 dB aufweist, wobei der Realtime-GPS-Computer eine Positions-Update rate ≥ 5 Hz liefert.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die DGPS-Referenzstrecke wahlweise über eine Funkstrecke kleiner Leistung im hierfür freigegebenen Frequenzbereich oder über ein Mobilfunk-Telekommunikationsnetz aufgebaut ist.

7. Verfahren zur terrestrischen digitalen Photogrammetrie mittels einer Orientierungsplattform gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch

- laufende Abfrage der Daten der DGPS-Empfangseinheit, der Sensorik zur Bestimmung der räumlichen Orientierung sowie des Entfernungsmessers und Zuordnen sowie Speichern dieser Daten als Anfangswerte der äußeren Orientierung jedes einzelnen Bildes;

- Abgabe von Steuer- oder Empfehlungswerten zum Auslösen der Bildaufnahmeeinrichtung für nächste Bilder, wobei mit Übernahme der Bilddaten in einen Bildfolgespeicher zeitgleich die korrespondierenden Lage- und Orientierungsdaten für das Projektionszentrum und Ausrichtung der Bildaufnahmeeinrichtung abgespeichert werden, wobei weiterhin auf der Basis der so erhaltenen Datenpakete zeitlich nachgeordnet eine 3D-Modellierung unter Anwendung bekannter Korrelationsverfahren erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Laserentfernungsmessers eine künstliche Mehrpunkt-Paßfläche, insbesondere Dreipunkt-Paßfläche auf dem abzubildenden Objekt erzeugt wird, um hieraus die Objektorientierung im Raum zu ermitteln.

9. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch einen Kalibrierungsschritt zum Ausgleich der mechanisch konstruktiv bedingten Positionsunterschiede zwischen der GPS-Antenne, der Bildebene der Bildaufnahmeeinrichtung sowie Ausrichtungsunterschiede zwischen letzterer und dem elektronischen Kompaß sowie dem Entfernungsmesser.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage- und Orientierungsdaten mit einer Abtastrate im wesentlichen im Bereich von 5 bis 20 Hz abgefragt und in ein einheitliches Datenformat transferiert sowie mit einer Zeitmarke versehen und als temporäre Daten über eine definierte Zeit zwischengespeichert werden, wobei dann, wenn eine Bildaufnahme nicht in das Abtasteraster fällt, die Position aus den zeitlich benachbarten, zwischengespeicherten Daten interpoliert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß unter Berücksichtigung der aktuellen Lage- und Orientierungsdaten und des Bildwinkels der Bildaufnahmeeinrichtung der Zeitpunkt bestimmt wird, zu dem die nächste Aufnahme auszulösen ist, wobei dieser Zeitpunkt als Meldung auf der Bedienoberfläche erscheint und/oder eine nächste Aufnahme zu diesem Zeitpunkt entsprechend automatisch ausgelöst wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

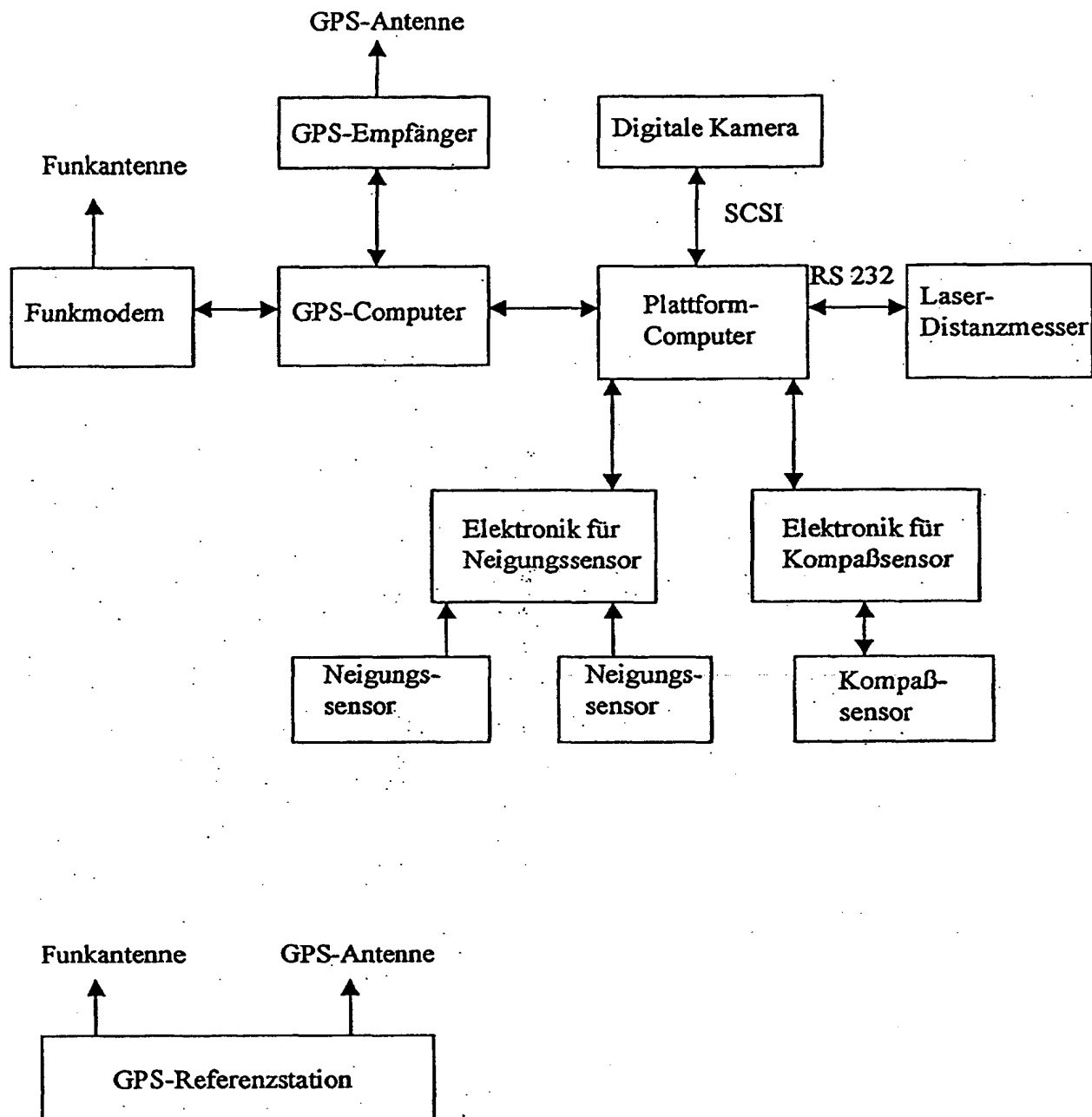


Fig. 1

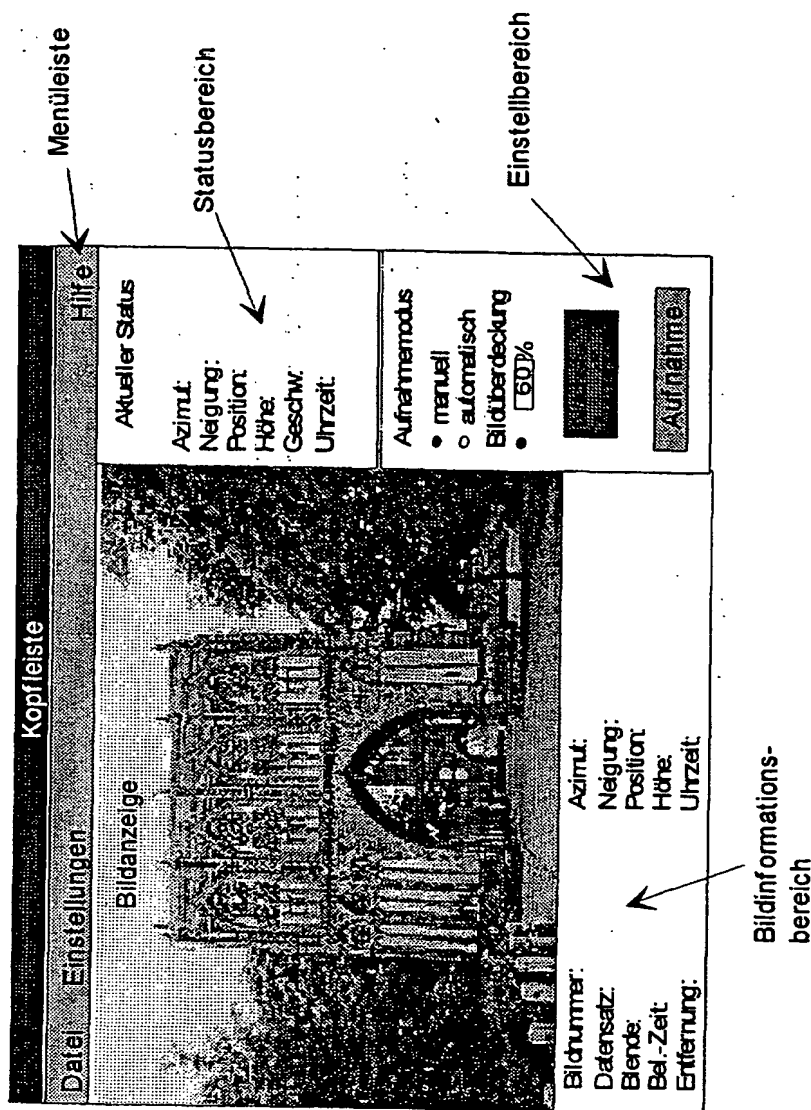


Fig. 2